8

Ventilation

Généralités

L'installation de « ventilation » ou d'« aération » d'un logement doit respecter, dès lors qu'il s'agit de travaux neufs ou de modifications importantes d'un état des lieux antérieurs, de nombreuses exigences réglementaires, en particulier en matière de sécurité (essentiellement présence du gaz — butane — propane) et d'hygiène (renouvellement d'air et condensations).

Ces exigences sont à concilier avec celles assurant en hiver le confort des occupants. En été, une aération énergique mais organisée (six volumes de local par heure) peut être suffisante ; à défaut, il faut conditionner l'air.

Le chapitre 7 : Chauffage, précise les exigences incontournables pour les pièces où sont installées les appareils à gaz.

Le principe général consiste à introduire (en le réchauffant en hiver) de l'air extérieur dans les pièces de vie ; à balayer l'air de ces pièces vers les pièces de service (cuisine, w.-c., salles d'eau) et à extraire de l'air vicié par des odeurs et surtout de l'humidité dans ces pièces de services, les plus polluées ; cette extraction est mécanique ou naturelle (conduit vertical).

En l'absence de gaz et d'appareils autonomes de chauffage au charbon ou au fioul, seules les considérations d'hygiène et de confort interviennent et les occupants des locaux ont plus de liberté pour moduler les débits d'air extérieur grâce, par exemple, à l'utilisation de bouches « autoréglables » ou « réglables » ; ils peuvent, en hiver, les réduire la nuit ou en cas d'absence.

Calcul simplifié pour déterminer le volume d'air à évacuer dans un petit local domestique

Pour déterminer ce renouvellement d'air :
— on calcule le volume du local : longueur × largeur × hauteur = volume en m³ ;
— on détermine le taux de renouvellement de l'air en fonction de l'usage du local.

Nombre de renouvellement de l'air par heure (N.R.H.)	
Pièces	*N.R.H.*
Cuisine	
— avec appareil mural ou en plafond	6 à 10 fois
— avec hotte	5 à 8 fois
Salle de bains	
— avec appareil mural ou en plafond	6 à 8 fois
— avec temporisateur (qui assure le fonctionnement de 5 à 30 minutes)	5 à 7 fois
W.-C.	
— avec appareil mural ou en plafond	8 à 10 fois
— avec temporisateur	7 à 9 fois

Évolution de la réglementation

Logements très anciens

Dans les logements très anciens, l'aération s'effectue au moyen des fenêtres et par le jeu des parties ouvrantes.

Amélioration de la ventilation des pièces de service, par une entrée d'air frais en partie basse et sortie en partie haute (ventilation naturelle ou mécanique) directement sur l'extérieur ou par un conduit. Section des orifices :

- 150 cm² pour la ventilation haute ;
- 100 cm² pour la ventilation basse avec appareils non raccordés ;
- 50 cm² pour la ventilation basse avec appareils raccordés.

Logements construits de 1955 à 1969

• L'aération des pièces de service s'effectue par une entrée d'air en partie basse et une sortie en partie haute, directement sur l'extérieur ou par un conduit.

Les sections des ouvertures sont les suivantes :

- cuisines et salles d'eau en façade : 150 cm² en parties basse et haute ;
- W.-C. et salle d'eau en position centrale : 200 cm² en partie basse, et 150 cm² en partie haute.

Les amenées d'air frais en partie basse ne doivent pas être percées à moins de 0,20 m du sol. Des déflecteurs ou des aérateurs statiques éviteront les courants d'air frais.

Les orifices des sorties d'air en partie haute doivent être au moins à 2,20 m du sol.

• Dans le cas où il existe un conduit, dans les pièces de service on peut améliorer la ventilation en créant un système de balayage, avec entrée d'air à partir des pièces principales et sortie dans les pièces de service.

Section des conduits par rapport au débit d'air				
Section	*Débits*			
	30 m³/h	60 m³/h	90 m³/h	120 m³/h
Circulaire	Ø 10 (80 cm²)	Ø 12,5 (120 cm²)	Ø 14,5 (160 cm²)	Ø 16 (200 cm²)
Carrée	10 × 10 (100 cm²)	12,5 × 12,5 (155 cm²)	14,5 × 14,5 (210 cm²)	16 × 16 (255 cm²)
Rectangulaire			12,5 × 18,5 (230 cm²)	12,5 × 23 (290 cm²)

Logements construits de 1969 à 1982

Obligation d'une ventilation générale et permanente, suivant le principe du balayage, à partir des pièces principales vers des conduits verticaux situés dans les pièces de service, avec suppression des entrées d'air parasites.

Cette aération s'effectue par :

- fonctionnement naturel (tirage thermique) ;
- ventilation mécanique contrôlée (VMC).

Dispositions actuelles

Logements construits à partir de 1982 (fig. 8-1)

Un arrêté du 24 mars 1982 :

• *reprend* le principe général de l'aération : cette aération « doit pouvoir être générale et permanente. La circulation d'air doit pouvoir se faire principalement par entrée d'air dans les pièces principales et sortir dans les pièces de service » ;

• *précise* les débits d'air extraits, valables pour tous les dispositifs de ventilation : mécaniques (V.M.C.) ou à fonctionnement naturel.

Mais la nouvelle réglementation donne la possibilité de moduler les débits d'air extrait en fonction des besoins, au moyen de dispositifs de réglages.

Débits devant pouvoir être atteints dans chaque pièce d'eau, prise individuellement ou simultanément avec les autres. Comme les débits sont pris en compte dans le calcul du coefficient G (voir : chapitre 10), le tableau ci-après indique plutôt les valeurs maximales.

Nombre de pièces principales du logement	*Débits extraits exprimés en m³/h*				
	Cuisine	*Salle de bains ou de douches commune ou non avec un cabinet d'aisances*	*Autre salle d'eau*	*Cabinet d'aisances*	
				Unique	*Multiple*
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 et plus	135	30	15	30	15

Dans les logements ne comportant qu'une pièce principale, la salle de bains ou de douches et le cabinet d'aisances peuvent avoir, s'ils sont contigus, une sortie d'air commune située dans le cabinet d'aisances. Le débit d'extraction à prendre en compte est de 15 m³/h.

Dans le cas où existent des dispositifs individuels de réglage, les débits totaux minimaux d'air extrait sont fixés comme ci-après :

■ **des passages d'air entre les pièces principales et les pièces de service**

On utilise des dispositifs en chicanes placés entre l'huisserie et le vantail, en partie haute des portes :
- pour un débit de 30 m³/h : section de 100 cm² ;
- pour un débit de 60 m³/h : section de 200 cm².

■ **un réseau d'extraction** comprenant :

— *des bouches d'extraction d'air* : d'un débit de 15 à 120 m³/h ; diamètre : 0,14 m. Hauteur à partir du sol de la pièce : 2,20 m.

Le raccordement des hottes motorisées du commerce est interdit dans les installations collectives.

— *un conduit vertical* : son diamètre varie entre 0,10 m et 0,50 m selon le débit d'air à extraire et le type d'installation ; longueur des éléments : de 1,00 à 2,47 m (standard).

— *un collecteur par niveau* : raccordé au conduit par piquage : diamètre : 0,125 m. Un seul collecteur est autorisé par niveau.

Une souche placée : *en comble*, avec suspension à la charpente au moyen de sangles et *en terrasse*, avec étanchéité par remontée de la multicouche.

— *un ventilateur centrifuge* : pour une ventilation mécanique.

Dans le cas de plusieurs conduits verticaux, des té-souches sont reliés au ventilateur par un réseau.

Réglementation concernant les divers types d'installation

Installations à fonctionnement naturel ou à dispositif mécanique :

Conduits individuels à fonctionnement naturel

Un conduit individuel ne peut desservir qu'une pièce.

Conduits collectifs à fonctionnement naturel

Un conduit collectif comporte un conduit collecteur et des raccordements individuels de hauteur d'étage, chacun ne desservant qu'une pièce.

Un conduit collectif desservant des cuisines ne peut desservir des locaux d'autre nature.

Le débouché du conduit en toiture doit empêcher le refoulement vers les logements et le siphonage par les souches voisines.

Interdiction de raccorder un dispositif individuel mécanique, telle une hotte équipée d'un ventilateur, à un conduit à tirage naturel ou mécanique.

Les cheminées à feu ouvert ne peuvent être raccordées à un conduit collectif à tirage naturel.

Conduits collectifs à dispositif mécanique (fig. 8-3)

Plusieurs extracteurs d'un même logement ne doivent pouvoir fonctionner que simultanément.

Les conduits de fumée ne peuvent être raccordés à un dispositif mécanique que si :

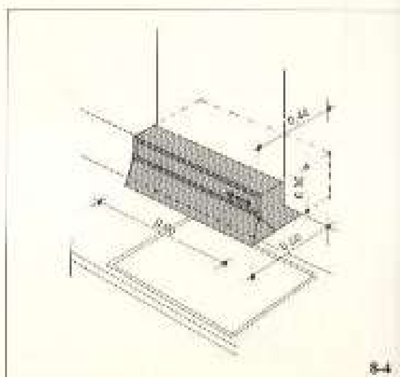
— l'évacuation de l'air de ventilation est également obtenue par un dispositif mécanique ;

— les deux dispositifs mécaniques ne peuvent fonctionner que simultanément.

Interdiction de raccorder un dispositif individuel mécanique, telle une hotte équipée d'un ventilateur, à un conduit à dispositif mécanique.

Cependant il existe la hotte de cuisine « CPAD », spécialement conçue pour la « ventilation mécanique » (V M C) (fig. 8-4) :
— son débit : 90 m³/h est 8 fois plus efficace qu'une bouche de V M C utilisée sans hotte. Les débits sont réglables pour des extractions de 20, 30 et 45 m³/h ;
— longueur : 0,598 m ; hauteur : 0,280 m ;
— saillie : 0,555 m (0,435 m lorsque l'auvent est relevé) ;
— distance entre la base de la hotte et le plan de cuisson : 0,30 m.

Un modèle CPA permet un raccordement directement sur une bouche de V M C, sa saillie n'est plus que de 0,525 m.



8-4

9

Conditionnement de l'air

Confort thermique d'hiver et d'été

Le confort thermique des occupants d'une construction, c'est-à-dire la sensation physiologique de plus ou moins bien être dans les diverses saisons, dépend pour beaucoup de la température de l'air de la pièce, mesurée à l'abri de toute radiation ; il dépend également des températures des diverses parois de la pièce, en particulier de celles des baies vitrées, sols et plafonds (voir chapitre 10 : *Isolation*).

La ventilation et le conditionnement de l'air ne peuvent donc être conçus que compte tenu des procédés de chauffage utilisés en hiver (voir chapitre 7 : *Chauffage*), de l'existence ou non de grandes baies équipées ou non de doubles vitrages, de l'importance et de la nature des protections (d'hiver et solaires) de ces baies.

Le chauffage utilisant seulement le réchauffement de l'air (voir chapitre 7 : *Chauffage*) peut demander, lorsqu'il existe de grandes parois froides, une surchauffe de l'air, de plus de 1 ou 2 degrés pour avoir la même température physiologique résultante.

Hiver : Le degré hygrométrique de l'air a assez peu d'importance en hiver : si l'air est trop sec, il est facile de l'humidifier, s'il est trop humide, il y a risque de condensations ; il faut ventiler énergiquement (voir chapitre 8 : *Ventilation*).

Été : Le problème du conditionnement de l'air est plus délicat en été, en particulier en climat humide ; il est alors indispensable de déshumidifier l'air refroidi par machine thermodynamique (climatisateur ou pompe à chaleur réversible). De plus, à la différence de l'hiver, on ne cherche pas à maintenir la température de l'air constante ; c'est la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur qui doit rester à peu près constante, l'air intérieur étant aussi sec que possible.

Quelques repères

Le « point de neutralité thermique », qui supprime la sensation de chaud et de froid, se situe entre 18 et 22 °C pour un taux d'humidité relative de 40 à 65 %.

La « zone de confort » se situe entre :
— 20 °C pour un taux de 75 % d'humidité relative ;
— 30 °C pour un taux de 30 % d'humidité relative.

L'été : 26 °C pour un taux de 60 % d'humidité relative. Le « confort physiologique » correspond aux conditions de la zone de confort auxquelles s'ajoutent la pureté de l'air (fumée, gaz résiduels de combustion, gaz d'échappement de voitures,

odeurs, moustiques et insectes) et la vitesse de circulation de l'air.

Climatisation centrale avec ventilateurs convecteurs

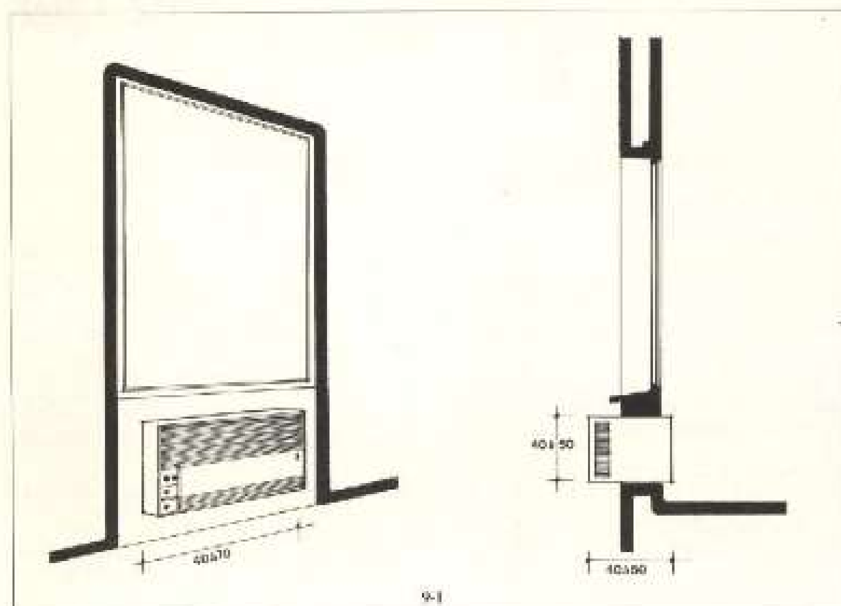
Niveau sonore compris entre 30 et 35 dB (A) à 3 m de distance.

Apport d'air frais :
- cuisine : 4 volumes par heure ;
- réception ; 3 volumes par heure ;
- couloirs et chambres : 2 volumes par heure.

Climatisation avec appareils individuels

Il s'agit ici de climatiseurs individuels (fig. 9-1), avec groupe frigorifique, filtres, batterie de chauffage, traitement de l'hygrométrie, et système de régulation.

Conditionneurs encastrés dans le mur d'allège d'une fenêtre ou dans une paroi extérieure :
- longueur : de 0,40 à 0,70 m ;
- hauteur : de 0,40 à 0,50 m ;
- profondeur : de 0,40 à 0,50 m.



9-1

10-1a			Valeurs du coefficient "G" (en W/m³ °C)						Valeurs du coefficient "B" à ne pas dépasser (en W/m³ °C)					
Type de logement		Classe	Zone H1		Zone H2		Zone H3		Zone H1		Zone H2		Zone H3	
	Volume habitable		chauffage I	chauffage II	chauffage I	chauffage II	chauffage I	chauffage II	chauffage I	chauffage II	chauffage I	chauffage II	chauffage I	chauffage II
Individuel	< 150 m³	I	0,95	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,75	0,80	0,85	[illegible]
	150 m³ ≤ V < 260 m³	II	0,90	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,70	0,75	0,70	0,75	[illegible]	[illegible]
	≥ 260 m³	III	0,85	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,70	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Non individuel et non superposé	< 150 m³	IV	[illegible]	0,90	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	150 m³ ≤ V < 260 m³	V	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	≥ 260 m³	VI	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,55	0,60	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Non individuel et superposé	Valeurs du Rapport R													
	[illegible]	VII	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	VIII	0,75	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	IX	0,75	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	X	0,60	0,65	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

LES ZONES CLIMATIQUES

Toutefois, les constructions situées à plus de 800 mètres d'altitude sont en zone H1 lorsque le département est indiqué comme étant en zone H2 ; et elles sont en zone H2 lorsque le département est indiqué comme étant en zone H3.



10-1b

une température de 20 °C avec une température extérieure de zéro, 30 watts par mètre cube : soit, pour une surface de 100 m² et 2,50 m de hauteur sous plafond, 7,5 kilowatts à apporter par chauffage électrique direct ou autrement.

Alors que le coefficient K d'une paroi ne tenait compte que de la seule chaleur traversant 1 m² de sa surface, le coefficient G d'un local tient compte de toutes les surfaces et de toutes les causes de pertes de chaleur, et en particulier de celles dues au renouvellement de l'air chaud par l'air froid : aération, ventilation, non étanchéité des baies.

Parallèlement à l'isolation thermique des parois, il est donc indispensable de réduire les déperditions et de limiter le renouvellement de l'air à environ une fois le volume intérieur à l'heure par une amélioration de l'étanchéité des fenêtres et la pose de prises d'air autoréglables insensibles aux effets du vent.

Coefficient B

Il complète le coefficient G et modifie le mode de calcul des déperditions thermiques, (mais il n'est pas exigé pour les maisons individuelles).

Le coefficient G prenait en compte les seules déperditions thermiques du logement, dues aux parois opaques (murs, sol et toit) aux parois vitrées et au renouvellement d'air.

Le coefficient B, qui s'exprime en W/m³ °C, tient compte des sources d'énergie procurées par les apports solaires et les apports internes, qui compensent les déperditions dans une certaine mesure.

Les surfaces d'ouverture du logement et leur orientation prennent beaucoup d'importance : les vitrages isolants en grandes surfaces ne sont plus considérés comme des éléments de déperdition thermique ; une bonne orientation de ces surfaces peut même se traduire par un gain moyen de 5 % sur les consommations.

La formule est la suivante :

B (W/m³ °C) =

G − (apports solaires + apports internes)

G : déperditions
B : déperditions − apports gratuits internes.

L'arrêté du 24 mars 1984 modifie les arrêtés précédents et définit :

— trois zones climatiques (fig. 10-1 a et b). Les

zones H1, H2, et H3 remplacent les zones A, B et C. Elles ont été déterminées en fonction de leur ensoleillement moyen durant la période de chauffage et de la température moyenne extérieure. Leurs limites coïncident avec les départements.

– dix classes de logements : suivant leurs types et leurs volumes habitables.

– deux types de chauffage : Type I : chauffage électrique pour au moins 50 % de la puissance installée ; Type II : autres modes de chauffage.

Suivant les régions, les apports solaires des fenêtres exposées au sud peuvent compenser plus ou moins bien les déperditions.

Il conviendra donc d'obtenir du vendeur d'une maison (clés en main ou à construire sur plan) des garanties précises et sérieuses sur la valeur des coefficients K, G et B. Pour calculer les coefficients K, G et B, les spécialistes doivent se conformer aux indications d'un « document technique unifié » appelé « Règles Th ».

Le calcul du coefficient G étant une opération complexe et délicate, on utilise souvent une méthode plus simple dite « des exemples de solutions du CSTB » qui permet d'assurer des valeurs convenables de G et B à partir du choix de certaines valeurs associées : coefficient K des murs, toitures et sols, dimensions des baies, type de vitrages (simples ou doubles) et de dispositifs de protection nocturne des baies.

Résistance thermique R d'une plaque ou d'une feuille épaisse d'un isolant

La valeur R permet d'apprécier les qualités d'efficacité de son isolation.

Pour un matériau homogène la résistance thermique est proportionnelle à l'épaisseur de la plaque.

L'unité de mesure, dans le système légal, est le watt. Au contraire du coefficient K, la valeur de R doit être la plus élevée possible.

Les valeurs usuelles de la résistance R des murs et toitures vont de 0,08 à 2,5.

Par exemple, pour obtenir la résistance thermique R = 2, il faut utiliser :
– soit 8 cm de fibre minérale (ou isolant similaire) ;
– soit 0,30 m de bois ;
– soit 0,50 m de béton cellulaire ;
– soit 3,50 m de béton lourd.

Suivant le matériau constitutif de l'isolant, l'épaisseur donnant une même résistance thermique varie.

La valeur R est égale au quotient de l'épaisseur d'un isolant par le coefficient de conductivité thermique λ.

On a donc intérêt à utiliser des matériaux de très faible conductivité thermique, afin de diminuer les épaisseurs des isolants.

Valeurs de résistance thermique recommandées pour les différents isolants utilisés dans la maison, suivant les zones climatiques et les modes de chauffage sont données dans le tableau suivant (source Afnor).

Zone climatique	*Zone froide H1*		*Zone moyenne H2*		*Zone tempérée H3*	
	Chauffage électrique	*Autres chauffages*	*Chauffage électrique*	*Autres chauffages*	*Chauffage électrique*	*Autres chauffages*
Toitures	R = 5	2,5	4	2,2	4	2
Murs	R = 2,5	1,75	2	1,5	1,75	1
Sols	R = 1,5	1,25	1,25	1	1	0,75

Coefficient de conductivité thermique λ d'un matériau

Ce coefficient correspond à l'aptitude d'un matériau à bien isoler ou bien conduire la chaleur.

La valeur de λ est très variable : celle du cuivre est dix mille fois supérieure à celle du polystyrène expansé.

Divers matériaux	*Coefficient λ (W/m °C)*
Granit	3,5
Lave	2,9
Ardoise	2,1
Calcaire	1,05
Meulière	1,05
Béton plein de granulats lourds	1,75 à 0,8
Béton de granulats légers	0,25 à 0,52
Fibragglo	0,16 à 0,12
Fibre amiante	0,95 à 0,65
Laine de verre	0,041
Chêne et hêtre	0,23
Sapin	0,12
Fibres de bois en panneaux	0,20 à 0,055
Liège comprimé	0,10
Liège expansé	0,043
Aluminium	230
Cuivre	380
Verre	1,15
Polystyrène expansé	0,042 à 0,037

Isolation des différentes parties de la maison (*)

Les combles

Épaisseur de l'isolant à prévoir dans un grenier ou combles :
— en zones climatiques H 1 et H 2 : 0,15 à 0,20 m ;
— en zone climatique H 3 : 0,10 à 0,15 m.

L'isolant est placé :
— sous le rampant, si le volume est aménagé ou accessible ;
— sur le plancher, si le volume n'est pas accessible.

Pose : sous le rampant :

— ménager le passage d'une lame d'air de 3 cm entre la sous-face du matériau de couverture et la face supérieure de l'isolant ;

— prévoir un pare-vapeur, placé du côté chaud de l'isolant, c'est-à-dire en sous-face, côté intérieur du volume à isoler. Certains isolants en rouleaux ont une face de revêtement qui joue le rôle de pare-vapeur.

Les toitures-terrasses : l'isolation s'effectue à l'extérieur.

Les murs

■ *Par l'intérieur*

Épaisseur de l'isolant placé sur la face interne du mur : 0,05 à 0,08 m avec contre-cloison montée à l'intérieur.

Un pare-vapeur sera prévu entre l'isolant et la contre-cloison.

■ *Par l'extérieur*

Épaisseur de l'isolant appliqué sur la face extérieure du mur : 0,05 à 0,08 m avec protection par enduit sur armature, bardage ou essentage.

Les planchers et les soubassements

■ *Plancher sur cave ou sous-sol ventilés*

Pose d'un isolant sous le plancher, en cave.

Épaisseur : 0,03 à 0,05 m.

■ *Dalle en terre-plein*

Pose d'un isolant rigide entre le terre-plein et la dalle en béton supportant le revêtement de sol. Épaisseur de 0,05 à 0,08 m.

Interposition d'un film en polyéthylène entre l'isolant et la dalle. Le matériau isolant sera posé en continuité avec l'isolant mural.

Les fenêtres

■ *Vitrages isolants*

En général, deux vitres d'épaisseur inégales, sont séparées par une lame d'air de 6 à 12 mm.

Pour ces vitrages, il existe un label AVIQ (Association des vitrages isolants de qualité).

Surcharge de poids : 10 à 20 kg/m².

■ *Survitrage*

Un chassis vitré est fixé sur le vantail de la fenêtre, en ménageant une lame d'air de 1 à 4 cm.

Poids du survitrage : 12 à 15 kg/m².

■ *Double-fenêtre placée à l'intérieur*

Distance minimum entre les deux fenêtres : 0,10 m.

Matériaux d'isolation thermique

Mousse de polyuréthane rigide : plaques rigides de 1,20 × 2,70 m, épaisseurs de 2 à 30 mm.

Polystyrène expansé : en feuilles, plaques, blocs, dalles, etc., avec dimensions variables. Densité variant de 1 à 3. Choisir une densité de 30 kg au mètre cube. Qualité classée non inflammable.

Laine de verre ou laine de roche : rouleaux de 6 à 12 m de longueur ; largeurs de 0,30 à 1 m.

Agglomérés de fibres de bois ou de fibres minérales : panneaux de 2,75 × 1,20 m ; épaisseurs de 10 à 30 mm. Dalles carrées ou rectangulaires.

Mica expansé : fines paillettes présentées en sacs de 100 l. Utilisé pour les plans horizontaux.

Agglomérés de liège : plaques de 0,50 × 0,50 m.

Plastique métallisé : rouleaux de 1 m de largeur.

Épaisseur en mm de ces différents matériaux pour un même coefficient d'isolation :

Mousse de polyuréthane rigide	20
Polystyrène expansé (densité 30 kg/m³)	34
Laine de verre	41
Laine de roche	44
Liège aggloméré	46
Agglomérés de fibres :	
— bois	50
— minéral	58
Mica expansé	87

Pour les matériaux très légers qui ont tous une très faible conductivité thermique, les épaisseurs

(*) Extraits de la brochure « Ce que vous devez savoir pour faire installer votre chauffage électrique » édité par le CEDEF.

quelles vont de 6 à 10 cm, ou même davantage dans le cas de chauffage électrique.

Épaisseurs des matériaux isolants (laine de verre, fibres de verre ou de roche, polystyrène ou équivalent, mousse de polyuréthane, mousse phénolique).

Ces épaisseurs sont données en mm pour les différentes parois d'une habitation, en fonction des zones climatiques et du mode de chauffage :

Chauffage électrique			
	Zone H1	*Zone H2*	*Zone H3*
Toiture	150	150	100
Murs	60	60	50
Plancher	30	30	0
Classement des fenêtres (classe A - imperméabilité à l'air - du classement A.E.V.) en fonction des mêmes critères	A2	A2	A1

Chauffage non électrique			
	Zone H1	*Zone H2*	*Zone H3*
Toiture	200	200	150
Murs	50	80	50
Plancher	40	40	40
Classement des fenêtres (classe A - imperméabilité à l'air - du classement A.E.V.) en fonction des mêmes critères	A3	A2	A2

Calcul de l'épaisseur rentable d'isolation (ERI)

Certains fabricants peuvent calculer l'épaisseur rentable d'isolation d'un matériau en fonction :
- du mode de chauffage ;
- de la nature du matériau de construction ;
- de la zone climatique où l'habitation est située.

Ce résultat tient compte du coût du chauffage et de l'amortissement du prix de l'isolation.

Classement et label

Classement AEV

Il concerne les fenêtres industrialisées.

Les performances sont indiquées par des lettres, avec subdivision en 3 classes :
- A : imperméabilité à l'air (3 classes : A1, A2, A3) ;
- E : étanchéité à l'eau (3 classes : E1, E2, E3) ;
- V : résistance au vent (3 classes : V1, V2, V3).

Ce classement est établi pour 2 types de régions (A et B), l'exposition (courante, front de mer et rase campagne) et le moyen de chauffage (électrique ou non électrique).

Label « Acotherm »

Le label « Acotherm » (performances acoustiques et thermiques) est décerné par le ministère de l'Équipement, aux fenêtres conformes aux exigences des règles de construction définies par le C.S.T.B.

Ce label classe les fenêtres en plusieurs catégories :
- la 2[e] catégorie concerne les fenêtres dont l'isolation thermique est améliorée, avec un coefficient K variant de :
  - 3,7 à 2,6 (W/m² °C) pour le bois ;
  - 4,2 à 3,1 (W/m² °C) pour le métal.
- la 3[e] catégorie concerne les fenêtres mixtes à isolations acoustique et thermique améliorées.

Isolation acoustique

Définitions et unités acoustiques

Le phénomène acoustique est objectif. Ses caractéristiques physiques sont :
- l'intensité, mesurée en décibels (dB) ;
- la fréquence, mesurée en hertz (Hz).

Le phénomène de perception des sons par l'oreille est subjectif, la « force du son » est mesurée en phones.

Un bruit est donc caractérisé par son intensité, on devrait plutôt dire par son niveau de pression acoustique.

Il est aussi caractérisé par sa fréquence, c'est-à-dire le nombre d'oscillations effectuées en 1 seconde. Ces fréquences sont décomposées en « bandes » correspondant chacune à un certain nombre de hertz qui sont les unités de vibration :
- infrasons : moins de 20 hertz, inaudible ;
- bande de fréquence des graves : de 20 à 400 hertz ;
- bande de fréquence des médiums : de 400 à 1 600 hertz ;

— bande de fréquence des aigus : de 1 600 à 20 000 hertz ;
— ultra-sons : plus de 20 000 hertz.

Un bruit contient toutes les fréquences. Pour mesurer un bruit, on doit donc mesurer son niveau sonore en décibels par rapport à chaque bande de fréquence et établir une moyenne.

C'est pourquoi on a utilisé un filtre (A) qui permet d'éliminer les fréquences parasites et d'approcher de la sensibilité de l'oreille moyenne. Les bruits sont alors exprimés en dB (A), correspondant à une fréquence de 1 000 hertz.

Loi de fréquence

Pour un même mur, l'isolement est meilleur pour les fréquences élevées que pour les fréquences basses. La paroi laissera passer les fréquences basses, mais s'opposera aux fréquences aiguës.

Exemple : Un mur d'un poids de 100 kg/m^2 a seulement un indice d'isolement de 30 dB pour la fréquence grave de 100 Hz, alors qu'il est de 52 dB pour la fréquence aiguë de 4 000 Hz.

L'échelle des décibels

Une variation de 1 dB correspond à une variation de 26 % de l'intensité sonore.

Lorsqu'on augmente de 3 dB le niveau sonore, on double l'énergie sonore.

Lorsqu'on augmente de 6 dB, on quadruple l'énergie sonore.

Si l'intensité du son est multiplié par 10, 100, 1 000, 10 000, le niveau du bruit augmente de 10, 20, 30, 40 décibels.

Les niveaux sonores ne s'additionnent pas.

Lorsque plusieurs appareils produisent chacun le même bruit, le nouveau bruit n'est pas proportionnel au nombre des appareils : si un appareil émet un niveau de bruit égal à *n* décibels :

2 appareils produiront un bruit égal à *n* décibels + 3 décibels ;
3 appareils produiront un bruit égal à *n* décibels + 5 décibels ;
4 appareils produiront un bruit égal à *n* décibels + 6 décibels ;
5 appareils produiront un bruit égal à *n* décibels + 7 décibels.

Si dans une pièce le bruit de fond est de 40 dB, lorsqu'on produit un bruit de 50 dB le niveau sonore ne sera pas de 90 dB, mais de 50,5 dB.

Nos sensations obéissent à la loi de Weber-Fechner : « La sensation varie comme le logarithme de l'excitation physique. » C'est pourquoi on utilise une unité logarithmique pour mesurer le niveau sonore.

Types de bruits

On distingue deux types de bruits, suivant leur origine et leur mode de transmission :

- **Bruits transmis directement** par l'air, à travers les parois, les ouvertures et les interstices. Ce sont les bruits aériens :

— bruits provenant de l'extérieur : moteur, cris, avertisseur, etc ;

— bruits provenant d'un local voisin : radio, télévision, conversation, etc.

- **Bruits transmis indirectement** par l'intermédiaire des murs et de l'ossature d'un bâtiment, par conduction, c'est-à-dire à travers les molécules des corps :

— bruits d'impact, provoqués par les chocs : coups dans les parois, bruits de pas, chute d'un objet, claquement de portes, etc ;

— bruit de vibrations : moteur fixé, canalisation d'eau, chaudière, roulement d'un véhicule, etc.

Principes de l'isolation

Comportement d'une onde traversant un matériau (bruit incident) :
— une partie est réfléchie ;
— une partie est absorbée par le matériau (dissipée en chaleur à l'intérieur) ;
— une partie est transmise à travers la paroi qui est mise en vibration (bruit transmis).

Isolation phonique = différence entre le bruit incident et le bruit transmis.

Loi de masse

Il y a un rapport entre la masse d'un mur et la protection qu'il assure. L'indice d'isolement acoustique augmente de 4,5 dB chaque fois que l'on double le poids au mètre carré de ce mur.

Mais cette loi n'est pas absolue : au-delà d'une

certaine limite, la masse à édifier n'est plus en rapport avec l'efficacité souhaitée.

Atténuation du bruit avec la distance

L'intensité d'un bruit décroît avec la distance.

Un bruit de 120 dB (réacteur d'avion) à 60 m est :
- de 114 dB à 120 m ;
- de 108 dB à 240 m ;
- de 102 dB à 480 m.

Niveaux de pression acoustique

Inoffensif :
- 0 dB : seuil de l'audibilité ;
- 20 dB : murmure, bruissement de feuilles ;

Tolérable :
- 30 dB : conversation calme, niveau acceptable pour une chambre à coucher ;
- 35 dB : niveau acceptable pour une pièce de séjour ;
- 40 dB : conversation moyenne, niveau acceptable pour un bureau ;
- 50 dB : rue tranquille, bruit acceptable dans un appartement moyen.

Troubles :
- 65 dB : ambiance de grand magasin, lieu public, bureau de dactylo, radio et télévision à niveau modéré ;
- 80 dB : hall de gare, brasserie, radio et télévision à niveau élevé ;
- 85 dB : métro sur roues passant sous la voûte.

Troubles accentués :
- 90 dB : rue bruyante, usine ;
- 95 dB : train passant en gare ;
- 100 dB : avertisseur de voiture, marteau pneumatique, atelier de chaudronnerie ;
- 120 dB : bruit de moteur d'avion, tonnerre.

Douleur :
- 130 à 140 dB : réacteur d'avion.

Danger :
- 200 dB : coup de canon.

Niveaux de pression acoustique admissibles pour différentes activités

Sommeil : 25 à 30 dB (A).
Repos diurne : 30 à 35 dB (A).
Travail cérébral : 35 à 40 dB (A).
Travail ménager : 40 à 45 dB (A).

Affaiblissement acoustique

Principe et utilisation

L'affaiblissement acoustique R d'une paroi correspond à une perte de transmission de la pression acoustique.

Des fiches sont fournies par le C.S.T.B. précisant les valeurs R de différents ouvrages ou matériaux ; elles sont exprimées en dB, correspondant à l'une des trois gammes de fréquences usuelles, ou en valeur globale (dB A) qui représente la moyenne arithmétique des trois bandes de fréquences.

Pour trouver l'indice d'affaiblissement global dans les locaux d'habitation courants, d'une hauteur sous plafond de 2,50 m et dont les parois ont la même masse, on peut appliquer la formule :

$$R = D + 6$$

R : est l'indice d'affaiblissement de l'ouvrage ou du matériau à utiliser ;

D : la valeur d'isolement acoustique souhaitée.

Exemple : Si un bruit de 80 dB (A) émis dans un local doit être réduit à 35 dB (A) dans un local voisin, la valeur d'isolement acoustique D souhaitée entre les deux locaux sera de :

$$80 - 35 = 45 \text{ dB (A)}$$

L'application de la formule ci-dessus donnera :

$$R = 45 + 6 = 51 \text{ dB (A)}$$

La valeur R d'affaiblissement acoustique du matériau ou de l'ouvrage à utiliser entre les deux locaux devra donc être au moins de 51 dB (A).

Valeurs d'affaiblissement acoustique des parois

Le tableau ci-après donne les valeurs d'affaiblissement acoustique correspondant à divers matériaux, sur les trois bandes de fréquences (grave, médium et aigu), et la comparaison avec la valeur globale dB (A) (voir tableau page suivante).

Indice alpha (α)

L'indice alpha (symbole α) est un indice d'amélioration acoustique des revêtements de sol. Il est égal à la diminution de l'inconfort acoustique lorsqu'on pose un revêtement sur une dalle de béton de 0,14 m d'épaisseur (cette mesure étant calculée sur les trois bandes de fréquences). Les valeurs de l'indice alpha s'expriment en décibels, de 0 à 40. Plus un plancher est léger, plus l'indice α du revêtement de sol doit être élevé.

Épaisseur (en mm)	Poids au m² (en kg)	Matériaux	Grave de 100 à 400 (Hz)	Médium de 500 à 1 000 (Hz)	Aigu de 1 600 à 3 200 (Hz)	dB (A)
2	4,9	verre mince	16	22	32	
3	7,3	verre normal	18	25	33	24
4	9,5	verre fort	19	28	32	
5	12	verre épais	22	30	31	
6	15	glace	26	31	30	28
8	20	glace	27	32	31	
10	25	glace	29	32	33	30
15	37,5	glace	31	32	39	32
19	47,5	glace	32	33	41	34
75	65	carreau de plâtre	32	38	47	
60	140	béton	37	45	50	
65	95	brique pleine	35	42	49	
110	200	brique pleine	39	46	54	
140	350	béton enduit deux faces	42	50	57	
220	450	brique pleine enduite deux faces	43	52	59	
13/18	31/42	glace triplex	31/33	33/35	40/47	
11/18	14/27	vitrage isolant	21/26	22/25	33/39	
22/34	21/46	vitrage avec lame d'air sur cadre	24/29	30/35	34/36	
32	60	brique de verre	34	37	45	
100	110	dalle de verre moulée	34	37	40	

Ainsi, l'indice α doit être au moins de 21 si le plancher servant de support a un poids au mètre carré égal ou supérieur à 350 kg. L'indice alpha doit être au moins de 25 si le plancher a un poids au mètre carré égal ou supérieur à 350 kg.

Indice alpha de quelques matériaux

• *Indice alpha inférieur à 10 :*

Carrelage posé à bain de mortier .....proche de 0
Tapis et dalles plastiques
sans semelle élastique ....de 1 à 5
Tapis vinylique sur semelle textile ....de 5 à 10
Linoléum 7
Parquet mosaïque collé 8

• *Indice alpha compris entre 10 et 20 :*

Tapis vinylique avec semelle feutre ....17 à 22
Tapis de caoutchouc plein (épaisseur 4 mm) ...18
Parquet mosaïque collé sur liège de 4 mm 18
Dalles vinyliques avec semelle de 1,5 cm
en béton de liège et fibre de bois 19
Parquet à l'anglaise sur lambourdes ....19 à 21

• *Indice alpha supérieur à 20 :*

Linoléum sur carton feutre bitumé 21
Parquet à bâtons rompus posés sur
le plancher ou avec sable ou panneaux
de fibres de bois ....22 à 25
Tapis vinylique tendu, sur mousse de 3 mm ...24
Tapis caoutchouc à sous-couche
cellulaire ....25 à 33
Dalle flottante de 4 cm en béton armé,
posée sur 1 cm de fibres minérales ......25 à 30
Parquet à l'anglaise sur lambourdes flottantes
avec matelas de 1,5 de fibres de verre 29
Tapis à velours touffé ....29 à 30
Moquette courante sur thibaude ....30 à 40

Le CSTB publie des fiches acoustiques concernant la plupart des matériaux de revêtement de sol.

Législation et labels

Un arrêté du 14 juin 1969 concernait l'isolation acoustique entre les logements.

Un nouvel arrêté en date du 10 février 1972 est venu préciser les modalités concernant l'obtention d'un label confort acoustique H.L.M.

Pour l'obtention du label il est prévu un système de cotation par points concernant cinq catégories de bruits :
- bruits aériens entre deux logements ;
- bruits aériens à l'intérieur d'un logement ;
- bruits d'impact ;
- bruits d'équipement ;
- bruits de trafic à l'extérieur.

À chaque catégorie on affecte un certain nombre de points. Dans les bâtiments collectifs, le maximum est de 20 points. Suivant le pourcentage obtenu par rapport au maximum possible, le label est classé :
- 1 étoile, pour 40 % du maximum de points ;
- 2 étoiles, entre 70 et 99 % du maximum de points ;
- 3 étoiles pour 100 %.

Bruits aériens entre un logement et les locaux collectifs, ou entre deux logements

Lorsque les bruits émis dans un immeuble sont de 90 dB, le bruit admissible dans les pièces d'un appartement ne doit pas dépasser 35 dB (A).

Quand les bruits émis dans les circulations communes sont de 70 dB, le bruit admissible est de :

29 dB (A) pour les chambres ;
32 dB (A) pour le séjour.

Quand les bruits émis dans des locaux d'activités (locaux commerciaux, garages, locaux collectifs résidentiels) sont de 85 dB, le bruit admissible est de : 32 dB (A) pour les chambres et le séjour.

Quand le bruit émis dans une pièce de séjour voisine est de 80 dB, le bruit admissible est de :

29 dB (A) pour les chambres ;
32 dB (A) pour le séjour.

Isolation entre maisons individuelles jumelées ou en bandes. Bruit maximal admissible entre deux logements : 27 dB (A).

Séparations isolantes : Parois verticales

Mur simple « lourd » (fig. 10-2)

Poids minimal au mètre carré : 350 kg, correspondant à un mur en béton banché de 0,16 m ou 0,14 m avec enduit deux faces. Affaiblissement moyen : 47 dB.

Poids au mètre carré pour l'obtention du label : 500 kg.

Mur double « mi-lourd » (avec enduits) (fig. 10-3)

Poids minimal au mètre carré de chacune des parois : 200 kg correspondant à un mur en béton ou en parpaing plein de 0,10 m. Espace minimal entre les parois : 1 cm. Veiller à l'indépendance des deux parois.

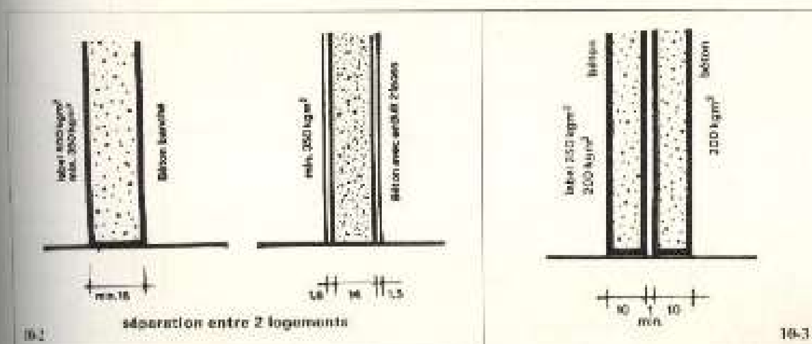
Poids au mètre carré de chacune des parois pour l'obtention du label : 250 kg correspondant à un mur en béton banché de 12,5 m.

Mur « doublé » (fig. 10-4)

Mur de base en maçonnerie, d'une épaisseur minimale de 0,10 m. Poids minimal au mètre carré : 155 kg. Poids au mètre carré pour l'obtention du label : 350 kg.

Ce mur doit s'appuyer à ses deux extrémités sur des parois d'un poids minimal au mètre carré de 350 kg.

Doublage, en matériau absorbant (fibres minérales ou végétales, composées de plusieurs feuilles super-



10-2 séparation entre 2 logements

10-3

posées), d'une épaisseur de 6 cm et cloison légère souple de 7 cm.

Exemples complémentaires

1. Deux cloisons de plâtre enduites, de 7 cm d'épaisseur, et espacées de 1 cm procurent une isolation de 35 dB environ.

2. Un mur doublé, constitué d'une paroi en béton de 0,11 m et d'une cloison en carreau de plâtre de 7 cm, séparées par 5 cm de laine minérale, procure une isolation de 50 dB environ.

Séparations isolantes : Planchers

Dalle pleine

Poids minimal au mètre carré : 350 kg. Poids au mètre carré pour l'obtention du label : 500 kg, avec revêtement de sol dont l'indice Δ sera au moins de 21.

Plancher composé, avec sol flottant

Ensemble comprenant :
- un plancher porteur d'un poids minimal au mètre carré de 250 kg ;
- poids au mètre carré pour l'obtention du label : 350 kg ;
- un matériau absorbant dont l'épaisseur sera calculée en fonction du poids de la dalle flottante ;
- une dalle flottante ou un parquet sur lambourdes. Éviter toute liaison entre la dalle flottante et le plancher porteur.

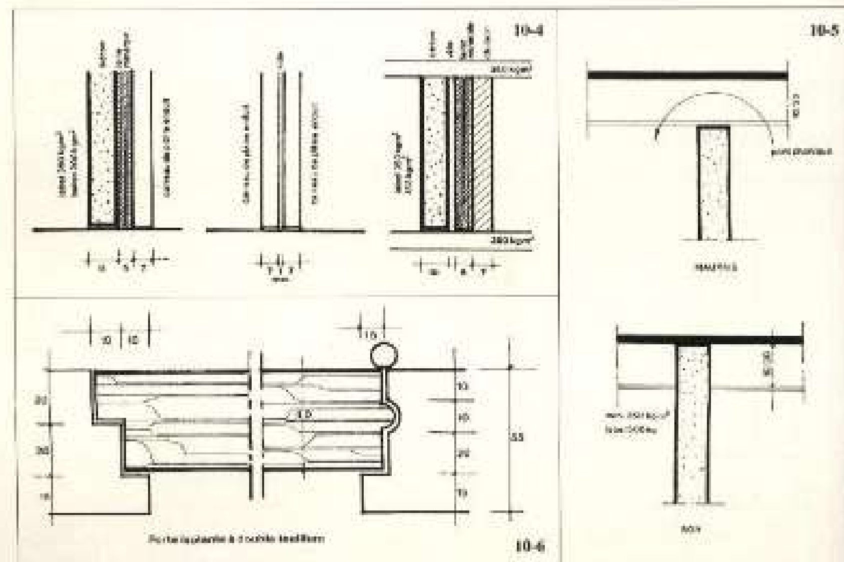
Plancher composé, avec plafond suspendu (fig. 10-5)

Ensemble comprenant :
- une dalle pleine ou un plancher nervuré d'un poids minimum au mètre carré de 250 kg ; poids au mètre carré pour l'obtention du label : 350 kg ;
- un vide d'air de 0,10 m minimum et de 0,30 m si possible ;
- un plafond suspendu souple relié à la dalle par des attaches isolantes.

Bruits aériens à l'intérieur d'un logement

Porte palière

Une porte palière (fig. 10-6), porte isoplane lourde, avec feuillures bien calfeutrées, procure une isolation de 30 dB (A) à 35 dB (A) qui est le niveau du label.



mètre et un diamètre intérieur de canalisation correspondant aux divers appareils :
- lavabo et bidet .. 30 mm ; en PVC 23,6 mm ;
- douche et évier .. 40 mm ; en PVC 33,6 mm ;
- baignoire .... 40 mm ; en PVC 43,6 mm ;
- collecteur des eaux
  vannes .... 90 mm ; en PVC 93,6 mm ;
- chute d'eaux usées
  groupant dans une salle
  d'eau : un lavabo, un bidet
  et une baignoire
  ....60 mm ; en PVC 56,6 mm.

Pour éviter le bruit de siphonnage, poser un siphon « bouteille » avec ventilation secondaire.

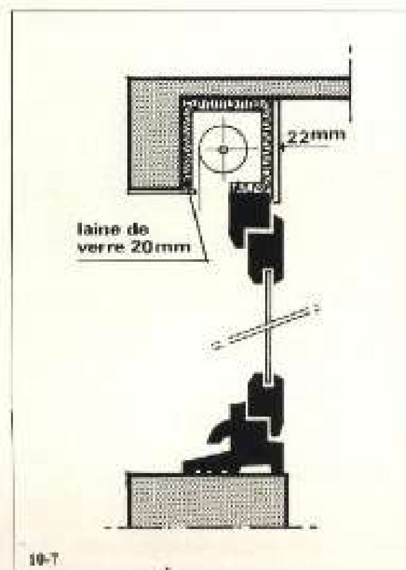
Appareils

À fixer sur des cales antivibratiles pour empêcher la transmission des vibrations à l'ossature.

Chasse de W.-C. : choisir un modèle à action hydropneumatique.

Électricité

Faire poser des interrupteurs avec contact à bascule et des télérupteurs avec isolation.



10-7

Ventilation

Gaines avec parois intérieures non lisses, de section régulière et sans coudes brusques. Choix d'une section en rapport avec une circulation d'air assez lente. Éventuellement, pose de « silencieux ».

Bruits de trafic à l'extérieur

Les façades soumises à des niveaux de bruit différents sont réparties en trois zones (I, II, III), suivant la décision des directeurs départementaux d'Équipement.

Isolement des façades pour l'obtention du label acoustique

42 dB (A) en zone I niveau de bruit extérieur supérieur à 73 dB (A) ;

33 dB (A) en zone II niveau de bruit extérieur compris entre 63 dB (A) et 73 dB (A).

Valeurs d'isolement des façades

Fenêtre grande ouverte	4 dB (A)
Fenêtre entrouverte	12 dB (A)
Fenêtre fermée	22 dB (A)
Fenêtre calfeutrée avec joints	27 dB (A)
Fenêtre avec balcon ou loggia	30 dB (A)
Fenêtre en bois enrobée PVC avec joints et vitrage multiple (5 mm + 21 mm d'air + 5 mm)	33 dB (A)
Fenêtre bois dans un ensemble de verres parallèles fixes ou coulissants (5 mm + 45 mm d'air + 5 mm)	37 dB (A)
Double fenêtre bois enrobé PVC, avec joints (8 mm + 150 mm d'air + 8 mm)	44 dB (A)

Isolement des ouvertures avec les matériaux verriers

Vitrage mince (épaisseur 2 mm) : isolement de	26 dB
Vitrage normal (épaisseur 4 mm) : isolement de	30 dB
Vitrage glace (épaisseur 16 mm) : isolement de	34 dB
Deux vitres de 2 mm espacées de 0,10 m : isolement de	34 dB
Deux vitres de 4 mm espacées de 0,10 m : isolement de	38 dB

Coffres de volets roulants (fig. 10-7)

Construction avec des bois de 22 mm et tapissage intérieur en laine minérale de 20 mm.

Label « Acotherm »

Le label « Acotherm » (Performance acoustique et thermique) est décerné par le ministère de l'Équipement, aux fenêtres conformes aux exigences des règles de construction, définies par le C.S.T.B.

Le label classe les fenêtres en plusieurs catégories :

– la 1[re] catégorie du Label concerne l'isolation acoustique des fenêtres en bois ; elle correspond à une amélioration acoustique variant entre 30 dB (A) et 45 dB (A) ;

– la 3[e] catégorie concerne les fenêtres mixtes à isolation thermique et phonique améliorée.

Correction acoustique
(Confort acoustique)

Principe

En milieu fermé, les ondes sonores reçues par nos oreilles proviennent :
– directement de la source sonore ;
– après réflexion sur des surfaces, avec un certain retard par rapport aux ondes directes ; c'est le « temps de réverbération ».

Si le temps de réverbération est trop long, l'oreille perçoit deux fois les sons.

Si le temps de réverbération est trop court, l'ambiance est trop ouatée.

Un temps moyen amplifie les sons sans les brouiller.

Coefficient d'absorption acoustique

Coefficient d'absorption acoustique (à une fréquence de 1 000 hertz) pour :

Murs et plafonds :

Plâtre nu :	0,03.
Plâtre peint :	0,02.
Enduit ciment brut :	0,03.
Enduit ciment lissé :	0,02.
Brique nue :	0,03.
Staff :	0,08.
Marbre :	0,01.
Glace :	0,03.
Vitrage :	0,18.
Porte bois :	0,11.
Porte isoplane :	0,17.
Rideaux lourds :	0,49.

Sols :

Parquet sur lambourdes :	0,10.
Parquet collé :	0,06.
Carrelage :	0,02.
Linoléum sur semelle :	0,09.
Dalles plastiques :	0,04.
Tapis haute laine :	0,40.
Moquette sur béton :	0,21.
Moquette sur semelle :	0,37.

Calcul du temps de réverbération

La formule de Sabine permet de mesurer le temps de réverbération :

$$T = 0,16 \times V/aS$$

T : temps de réverbération du son en seconde ;
V : volume du local en m^3 ;
S : surface des parois en m^2 ;
a : coefficient d'absorption acoustique des parois en fonction des matériaux et de leur mise en œuvre.

Le temps de réverbération idéal dépend du volume du local et de la nature des sons.

Temps de réverbération dans l'habitation :
– dans les parties communes : 1,5 s ;
– dans les pièces d'habitation : 1 s ;
– d'après un arrêté du 14 septembre 1969, le temps de réverbération correspondant à un confort satisfaisant est de 0,5 s.

Diminution de la réverbération d'un local

Le principe de base consiste à supprimer ou réduire le « dialogue des parois » en garnissant une des deux surfaces se faisant vis-à-vis avec un matériau absorbant.

Il y a lieu :

• d'augmenter la surface des parois au moyen de panneaux et d'écrans, ou d'augmenter le coefficient d'absorption de ces parois en choisissant des matériaux absorbants.

La qualité absorbante d'un matériau est définie par son coefficient d'absorption acoustique (entre 0 et 1).

Exemple :
— fenêtre ouverte : absorption absolue = 1 ;
— laine minérale (épaisseur 5 cm ; poids 100 kg au m^2) = 0,8 ;
— isocel isolant peint (épaisseur 2 cm) = 0,5 ;
— métal poli = voisin de 0 ;

• d'effectuer la correction acoustique en fonction des fréquences des sons émis dans le local.

Pour corriger :
— les fréquences moyennes, recouvrir les parois de cavités pièges accordées sur la fréquence émise ;
— les fréquences graves, se servir de parois minces formant membranes ;
— les fréquences aiguës, poser des revêtements fibreux alvéolaires.